

LT6101

低功耗触摸按键控制芯片

Low Power Capacitive Touch Key Controller

规格书

V1.2

目 录

- 概述 4
- 特点 5
- 型号信息 5
- 管脚描述 5
- 极限参数 6
- 电气参数 6
- 内部结构框图 7
- 应用信息 7
- 1. SPI 接口 7
 - 1.1 接口复位功能 7
 - 1.2 SPI 操作模式 7
 - 1.3 SPI 时钟极性和数据相位 7
 - 1.4 SPI 数据包 7
 - 1.5 SPI 三态数据输出 8
 - 1.6 SPI 数据输入包类型 8
 - 1.7 SPI 接口限制 8
- 2. 工作模式 9
 - 2.1 同步方式 9
 - 2.2 待机状态 9
 - 2.3 工作模式切换 9
- 3. 触摸信号测量原理 10
- 4. 寄存器表 11
- 5. 寄存器命令说明 12
 - 5.1 START 命令 (0x01) 12
 - 5.2 BC 命令 (0x02) 12
 - 5.3 MODE 命令 (0x03) 12
 - 5.4 SEN 命令 (0x04~0x05) 13

5.5	INT 命令 (0x06~0x09)	13
5.6	OSC 命令 (0x0A)	15
5.7	CP 命令 (0x0B)	15
5.8	从机 PROBE 命令 (0x0C)	15
5.9	HOST 命令 (0x0D~0x0F)	15
6.	按键设计注意事项	16
6.1	单个按键输入	16
6.2	进度条输入	16
6.3	圆环输入	16
6.4	多图形组合输入	16
7.	系统应用方案	17
8.	程序设计参考	18
8.1	主要参数设置	18
8.2	初始化代码	20
8.3	退出主机模式	21
8.4	进入主机模式	22
8.5	软件应用调试说明	23
9.	参考应用电路	25
▶	封装信息	26
▶	版本记录	28
▶	版权说明	28

低功耗触摸按键控制芯片

Low Power Capacitive Touch Key Controller

概述

LT6101 是一款具有极低功耗的自电容式触摸按键控制芯片。该芯片采用本公司专利的电容式触摸按键信息检测技术，能够实现非常低的动态功耗和高的触摸信号检测精度，适合于对功耗要求苛刻的电子产品触摸按键应用。

LT6101 可以作为外部控制器的从机运行，也可以作为主机独立运行。作为从机时，芯片在 SPI 时钟信号同步下工作，以正常按键刷新速率，典型工作电流仅 16uA。作为主机独立运行时，LT6101 在内部振荡器产生的时钟信号（也可选择使用外部时钟信号）同步下工作，循环查询各个触摸按键的状态，并在发现了指定触摸事件后，以中断方式激活外部控制器。主机模式下，使用内部振荡器产生的时钟工作，典型芯片工作电流仅 4.5uA；当使用外部时钟输入时，典型工作电流仅 1.3uA。LT6101 的主机运行模式，使得触摸按键的查询无需外部控制器的干预，特定触摸事件的识别在芯片内部自动完成，无触摸事件时，外部控制器可进入深度休眠，从而大大节省整个系统功耗。

LT6101 内部集成 11 位逐次逼近型电容量化电路，可以检测到最小 9fF 触摸按键电容变化量。芯片支持直接数字化的电容量化结果输出和是否触摸的判定结果输出，主机模式下，支持内部按键信号多次测量滤波。

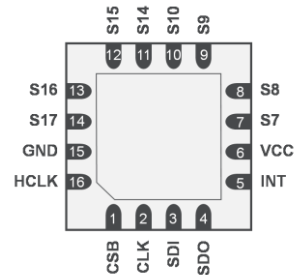
LT6101 支持多种触摸模式中断信号产生，并可灵活调节按键触发的时间长度。LT6101 同时支持最多 4 按键二进制密码图形中断触发，可以大大减小系统误触发的概率，适合于各种对功耗要求苛刻的电子产品自电容式触摸按键应用。

Package Types



LT6101B

QFNWB3X3-16L



LT6101A

QFNWB5X5-32L

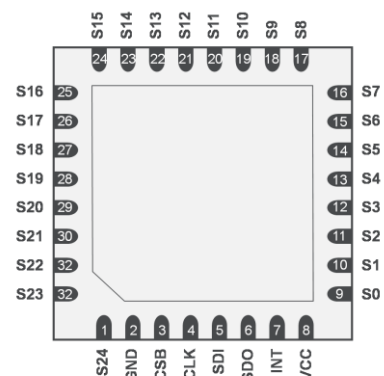


图 1：封装脚位

特点

- 极低的待机和工作电流（从机模式典型工作电流 16uA，主机模式典型工作电流 4.5uA 和 1.3uA）
- 同时支持主机工作模式和从机工作模式
- 内置 11 位逐次逼近型电容量化器
- 支持最多 4 按键二进制密码图形中断触发
- 主机触摸事件自动循环查询
- 极高的信号检测精度（最小 9fF 自电容变化量分辨率）
- 多种方式的触摸事件自动识别及中断触发
- 工作电压 2.8V~5.5V
- 可配置 Offset 消除
- 可配置测量范围和测量精度调节
- 极佳的噪声抑制能力和测量稳定性

型号信息

表 1: 型号信息

型号	封装	温度范围	应用范围
LT6101A	QFNWB5X5-32L	-40°C ~ 105°C	最多 25 按键，不支持主机外部时钟输入。
LT6101B	QFNWB3X3-16L	-40°C ~ 105°C	最多 8 按键，支持主机外部时钟输入。

管脚描述

表 2: 管脚信息

序号	管脚名称	管脚方向	功能描述
1	GND	I/O	芯片地线
2	HCLK	I	外部主机时钟输入
3	CSB	I	SPI 接口片选信号
4	CLK	I	SPI 接口时钟信号
5	SDI	I	SPI 接口数据输入
6	SDO	O	SPI 接口数据输出
7	INT	O	中断信号输出
8	VCC	I/O	芯片电源
9~33	S0~S24	I/O	触摸按键感应管脚，直接与触摸键连接

极限参数

表 3: 极限参数

符号	描述	参数范围	单位
VCC	电源电压	-0.3 ~ 6	V
V _i	逻辑输入 (CSB, CLK, HCLK, SDI)	-0.3 ~ VCC+0.3	V
V _o	逻辑输出 (SDO, INT)	-0.3 ~ VCC+0.3	V
S	触摸按键感应通道	-0.3 ~ VCC+0.3	V
Pdmax	最大功耗	1	mW
T _j	工作温度范围	-40 ~ 105	°C
TSTG	储存温度范围	-55 ~ 150	°C

注 1: 最大极限值是指超出该工作范围, 芯片有可能损坏。推荐工作范围是指在该范围内, 器件功能正常, 但并不完全保证满足个别性能指标。电气参数定义了器件在工作范围内并且在保证特定性能指标的测试条件下的直流和交流电参数规范。对于未给定上下限值的参数, 本规范不予保证其精度, 但其典型值合理反映了器件性能。

电气参数 (条件: VCC=3.3V, T_A=25°C)

表 4: 电气参数

符号	参数描述	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{IH}	输入高电位		0.8VCC		VCC	V
V _{IL}	输入低电位		0		0.2VCC	V
V _{OH}	输出高电位		0.9VCC		VCC	V
V _{OL}	输出低电位		0		0.1VCC	V
Fosc	内部振荡器频率		35	40	45	KHz
I ₁	待机静态电流			0.1		uA
I _{S1}	从机模式工作电流 1	CLK=500KHz, 采样率=15K		16		uA
I _{S2}	从机模式工作电流 2	CLK=500KHz, CSB=" L"		37		uA
I _{H1}	主机工作模式电流 1	使用内部时钟		4.5		uA
I _{H2}	主机工作模式电流 2	使用外部时钟, HCLK=30K		2.1		uA
I _{H3}	主机工作模式电流 3	使用外部时钟, HCLK=10K		1.5		uA
I _{H4}	主机工作模式电流 4	使用外部时钟, HCLK=5K		1.3		uA

注 2：典型参数值为 25°C 下测得的参数标准。

注 3：规格书的最小、最大规范范围由测试保证，典型值由设计、测试或统计分析保证。

内部结构框图

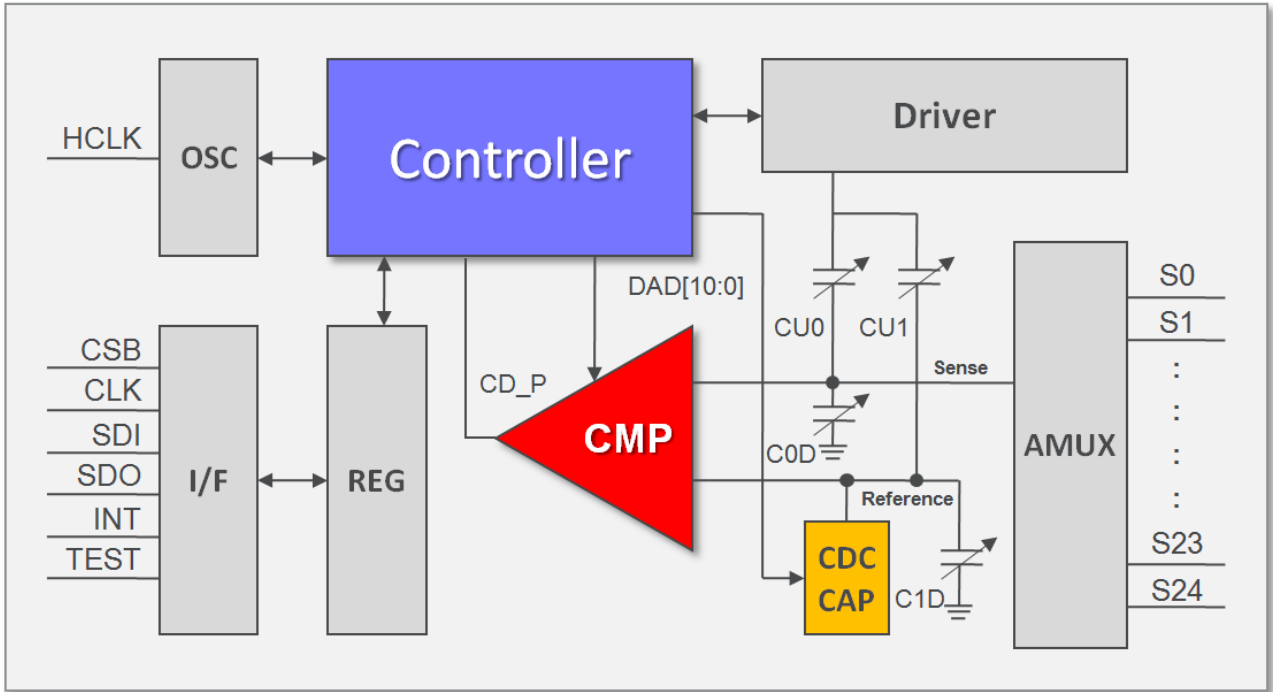


图 2：LT6101 内部框图

应用信息

1. SPI 接口

LT6101 采用 4 线 SPI 接口与外部控制器通讯。

500KHz 以下，以保证采样结果的正确性。

1.1 接口复位功能

当 CSB 信号为“H”时，LT6101 接口控制器将会被复位。复位信号仅复位芯片接口，芯片配置寄存器均处于保持状态。当 CSB 信号为“L”时，退出复位状态。当 LT6101 数据包出现混乱状态时，可以使用复位功能对接口进行复位。

1.2 SPI 操作模式

LT6101 接口工作在 SPI 从机模式下，时钟信号由外部控制器提供，最大允许的时钟频率为 1Mhz（通讯状态下），在采样状态下，需要将时钟信号降低到

1.3 SPI 时钟极性和数据相位

LT6101 在 CLK 的上升沿捕获数据，在 CLK 的下降沿输出数据。

1.4 SPI 数据包

LT6101 的通讯是基于 16 位数据包。CSB 为“H”时，SPI 接口处于复位状态，当 CSB 为“L”时，SPI 接口处于数据接收就绪状态，在整个数据传输状态（一个或数个数据包），CSB 必须始终保持“L”状态。在 16 位数据包传输过程中允许临时性时钟暂

停，这使得允许使用 8 位 MCU 进行 16 位数据包传送。输出数据包是 16 位，其首位和最末位并不承载任何有用信息，这使得 LT6101 能与不同相位采样的 SPI 硬件主机相连。

当 CSB 信号被激活时 (CSB 下降沿)，LT6101 开始在 CLK 的上升沿采样 SDI 上的信号，CSB 在整个命令/数据传输过程中必须始终保持为“L”，在 CSB=0 时 (接口复位刚完成时)，第一个逻辑“1”会启动接口电路进行数据包传输，在没有收到第一个逻辑“1”之前的所有逻辑“0”都将会被忽略，第一个逻辑“1”同时也是首个数据传输包的最高位

和同步位，LT6101 使用一个内部 16 位计数器进行后续数据包识别，每一组 16 个 CLK 定义一个新的数据包，后续数据包的同步依赖于初始数据包的对齐，在整个数据传输过程中，后续数据包将不会再同步。主机可以通过检查 SDO 管脚的返回包的同步序列“1100”来确认数据传送是否仍处于同步状态。如果发现同步失配，需要启动复位功能进行接口复位以再次同步。

如果 LT6101 接收到一个以 0 开头的数据包，则会将该数据包做丢弃处理。

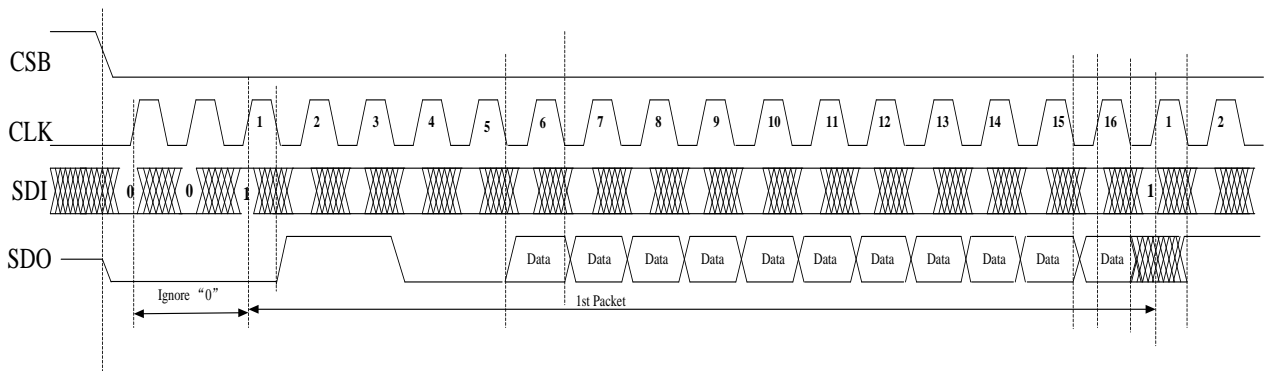


图 3: SPI 接口时序

1.5 SPI 三态数据输出

SDO 管脚是一个三态管脚，当 CSB 变为“H”时，SDO 管脚立即变为高阻态，当 CSB 变为“L”时，SDO 立即进入正常逻辑输出状态或仍然处于高阻状态，其依赖于 OEB 标志位。

1.6 SPI 数据输入包类型

发送给 LT6101 的数据包包含两种类型：索引和命令。LT6101 是以每个数据包的最高两位为“11”和“10”来区分索引和命令的。当数据包的最高两位为“11”时，代表当前数据包是一个索引数据包，数据包的 IR7~IR0 位代表一个索引值，该索引值代表下一个或多个命令的类型。当数据包的最高两位为“10”时，代表当前数据包是一个命令数据包，命令类型由 IR7~IR0 指定。

1.7 SPI 接口限制

当 LT6101 处于主机工作模式下时，仅 03 寄存器和 01 寄存器的 HRST 位可以通过 SPI 接口修改，其余寄存器位均无法被修改，而处于保持状态。

2. 工作模式

LT6101 可以按照主机模式和从机模式两种方式工作。主机模式下，LT6101 以内部的 OSC 输出(或 HCLK 管脚输入信号)作为同步时钟，自主对指定的电极进行信号测量，将测量结果存储在输出寄存器 (0x0D, 0x0E, 0x0F 寄存器) 中，同时按照特定设置条件触发外部中断信号。从机模式下，LT6101 以 SPI 接口的 CLK 作为同步时钟，在外部主机控制下进行信号测量，外部主机通过不断发送测量指令对指定的电极进行信号测量，测量结果在发送测量命令时通过 SDO 返回主机。

主机工作模式特别适合于具有较低功耗要求的系统。外部控制器无需通过反复 IO 来控制 LT6101 的工作状态，仅需要设置必要的中断触发条件和工作状态配置寄存器，LT6101 自主循环查询各个触摸按键的状态，并在满足设定条件时通过中断信号来通知外部控制器，测量过程无需外部控制器干预，可以最大限度节省系统功耗和运算资源。

LT6101 的主机工作模式具有如下特征：

- (1) 可以通过设定参考电容灵活设置信号检测阈值 (CP10~CP0)
- (2) 支持通过设置中断触发条件 ITH1~0 实现简单的信号滤波。
- (3) 支持通过设置内部计数器，自由调节测量时间间隔，从而调整扫描频率。(ACEN, AC12~0)
- (4) 支持间隔性关闭内部模拟电路，以节省系统功耗。(ACM, CM5~0)
- (5) 支持四位密码或组合触摸中断触发。(AS, AM1~0, AA4~0, PL1~0, PP3~0)

2.1 同步方式

LT6101 的接口控制寄存器采用 SPI 接口的 CLK 信号同步。内部的电极扫描时序控制和中断信号产生根据电路的工作模式不同而有差异，从机工作模式下，内部时序由 SPI 接口的 CLK 信号同步；主机工作模式下，内部时序由 OSC 电路产生的时钟信号或 HCLK 管脚输入信号同步。

2.2 待机状态

LT6101 待机状态仅在从机模式下有效。当芯片运行于从机模式下时，且 CSB 信号为“H”时，LT6101 进入待机，除 CSB 信号以外的所有外部输入信号(如 SDI, CLK) 均被忽略，内部操作也均停止，只有 CMOS 漏电流和模拟电路的静态尾电流。处于待机模式下，SDO 输出为高阻态，所有内部存储单元数据处于保持状态。当芯片进入工作模式(CSB 为“L”时)，内部电路被激活。

2.3 工作模式切换

LT6101 的工作模式切换按照下图所示进行。

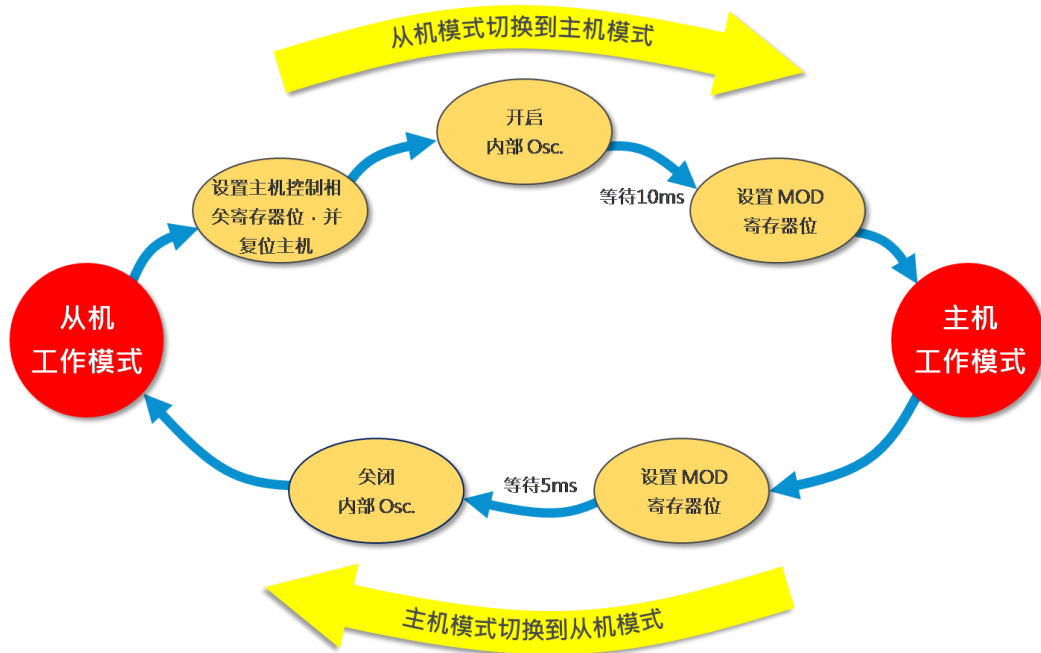


图 4：工作模式切换

3. 触摸信号测量原理

针对超低功耗的触摸信息检测应用，乐升半导体开发了专利的桥式触摸信号测量技术。LT6101 内部集成了四个可编程电容 CU0、CU1、CD0、CD1，四个电容构成 LT6101 内部的测量电容桥。CU0、CU1、CD0、CD1 作为电容桥的四个桥臂，电容桥由内部驱动器发射的 IXT 信号驱动。触摸信号测量时，通过内部集成的模拟开关阵列 (AMUX) 将触摸按键电极连接到测量电容桥的一个顶点 Sense 上，然后在电容桥的对称顶点 (Reference) 悬挂一个补偿电容阵列 (CDC) 进行电容桥补偿和信号测量。

LT6101 支持平衡电容桥或比例平衡电容桥方法实现触摸信号测量。LT6101 定义电容桥平衡条件为 $V_{sense} = V_{reference}$ 。采用平衡电容桥方法时 CU0 和 CU1 设置相同的电容值，此时如果要使电容桥满足平衡条件，需要 $CD0 + C_{TouchKey} = CD1 + CDC$ ($C_{TouchKey}$ 是触摸按键的本征自电容)，如果设置 $CD0 = CD1$ ，则 $C_{TouchKey} = CDC$ ，内部 CDC 补偿电容作为触摸信号的数字度量。用户也可以设置 CD0 和 CD1 具有不相同的数值，以改变 LT6101 的测量范

围或改变测量结果的 offset 值。当需要更大的测量信号输入范围时，LT6101 支持使用比例平衡电容桥方法，此时 CU0 和 CU1 按照一定的比例设置，例如 $CU0 / CU1 = k$ ，此时要使电容桥满足平衡条件，需要 $k(CD0 + C_{TouchKey}) = CD1 + CDC$ ，内部 CDC 补偿电容可以作为触摸按键的 k 比例测量结果。

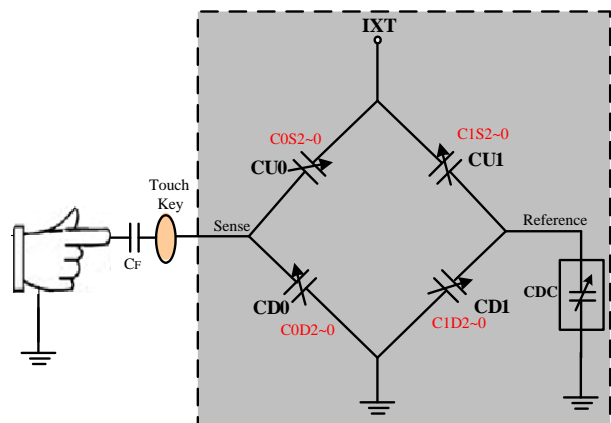


图 5：测量电容桥

4. 寄存器表

表 5: 寄存器总表

Index	Name	W/R	B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
	Index	w	1	1							IR7	IR6	IR5	IR4	IR3	IR2	IR1	IR0
0X01	START	W	1	0	HRST	CODI	OEB											
0X02	BC	W	1	0	C1S2	C1S1	C1S0	COS2	COS1	COS0	*	C1D2	C1D1	C1D0	*	COD2	COD1	COD0
0X03	MODE	W	1	0	ME	MOD	CLE											
0X04	SEN1	W	1	0	S24	S23	S22	S21	S20	S19	S18	S17	S16	S15	S14	S13		
0X05	SEN2	W	1	0	S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0	
0X06	INT0	W	1	0	IEN	ITH1	ITH0	ITM	ITP	IF4	IF3	IF2	IF1	IF0	ATC1	ATC0		
0X07	INT1	W	1	0	AS	AM1	AM0	AA4	AA3	AA2	AA1	AA0	PL1	PL0	PP3	PP2	PP1	PP0
0X08	INT2	W	1	0	ACEN	AC12	AC11	AC10	AC9	AC8	AC7	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0
0X09	INT3	W	1	0	ACM	CM5	CM4	CM3	CM2	CM1	CM0							
0X0A	OSC	W	1	0	OEN	HSEL												
0X0B	CP	W	1	0	CP10	CP9	CP8	CP7	CP6	CP5	CP4	CP3	CP2	CP1	CP0			
0X0C	PROBE	W	1	0	A4	A3	A2	A1	A0									
	OUT1		1	1	0	0	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
	OUT2		1	1	0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	RSUT	
0X0D	HOST	R	1	0														
	OUT1		1	1	0	0	S24R	S23R	S22R	S21R	S20R	S19R	S18R	S17R				
0X0E	HOST	R	1	0														
	OUT2		1	1	0	0	S16R	S15R	S14R	S13R	S12R	S11R	S10R	S9R				
0X0F	HOST	R	1	0														
	OUT3		1	1	0	0	S8R	S7R	S6R	S5R	S4R	S3R	S2R	S1R	S0R			

5. 寄存器命令说明

5.1 START 命令 (0x01)

Start 命令用于芯片启动时的初始配置。

HRST 位: 主机复位位

1: 写入 1 时, 就完成一次对主机的复位。

0: 写入 0 时, 禁止复位。

芯片启动后外部主机需要向 HRST 位写入 1 帮助主状态机复位。

C0D1 位: 控制 CD0 电容的连接方式。

0: CD0 电容作为 Sense 线的自电容。

1: CD0 电容作为 Reference 线的自电容。

参照第 3 节的测量电容桥设置, 当触摸按键的本征电容 $C_{TouchKey}$ 过大时, 可以将 CD0 与 CD1 合并挂接到 Reference 顶点, 以提高 LT6101 的有效信号测量范围。

OEB 位: 控制 SDO 线的状态

0: 写入 0 时, SDO 输出正常。

1: 写入 1 时, SDO 线输出 Hiz。

5.2 BC 命令 (0x02)

BC 命令用于电容桥四个桥臂电容 CU0、CU1、CD0、CD1 的电容值设置。

C1S2~C1S0 位, C0S2~C0S0 位: 用于控制内部上拉电容 CU1, CU0。

表 6: C*S2~ C*S0

C*S2~C*S0	C*S 电容
000	0 (无上拉电容)
001	0.8pF
010	1.6pF
011	2.4pF
100	3.2pF
101	4pF
110	4.8pF
111	5.6pF

C1D2~ C1D0 位, C0D2~ C0D0 位: 用于控制内部接地电容 C1D、C0D。

表 7: C*D2~ C*D0

C*D2~ C*D0	C*D 电容
000	0 (无接地电容)
001	0.8pF
010	1.6pF
011	2.4pF
100	3.2pF
101	4pF
110	4.8pF
111	5.6pF

5.3 MODE 命令 (0x03)

MODE 命令用于设置 LT6101 的工作模式。

ME 位: 信号输出方式定义

ME0=1: 自电容进行直接量化。

ME0=0: 参考电容比较输出。

MOD 位: 工作模式定义

MOD=1: 主机工作模式。

MOD=0: 从机工作模式。

CLE 位: 主机中断清除位

设置 CLE 位为 0 撤销主机中断信号输出。

5.4 SEN 命令 (0x04~0x05)

SEN 命令用于设置主机工作模式下传感器感应通道的状态。

S0~S24 位：确定主机工作模式下 25 个传感器感应通道的状态

- 1：对应传感器感应通道处于活动状态。
- 0：对应传感器感应通道不可用。

5.5 INT 命令 (0x06~0x09)

INT 命令用于设置主机工作模式下中断信号的触发条件。

IEN 位：中断使能位

- 1：中断使能。
- 0：中断禁止。

ITH1, ITH0 位：中断触发滤波

定义主机工作模式时，中断触发的滤波条件。

表 8: ITH1~ ITH0

ITH1	ITH0	中断触发条件
0	0	不进行测量滤波
0	1	二次测量滤波
1	0	三次测量滤波
1	1	四次测量滤波

为了降低随机噪声的干扰，LT6101 内部集成了一个中断输出滤波器，滤波器参数由寄存器位 ITH1~0 控制。

主机工作模式下，LT6101 会对指定按键参数循环测量，并在测量参数满足中断触发条件时输出中断信号。当存在外部随机噪声干扰时，中断信号可能被误触发。为了降低误触发的概率，用户可以设置 ITH1~0 寄存器参数，使 LT6101 在多次测量（由 ITH1~0 确定）并满足相同中断触发条件的情况下产生外部中断信号。

ITM 位：中断模式控制。

- ITM=1：脉冲中断。
- ITM=0：电平中断。

IF4~IF0：脉冲中断信号宽度控制。

该设置在 ITM=1 时有效，用于定义中断脉冲信号宽度。

表 9: IF4~IF0

IF4~IF0	中断信号宽度 (以主机时钟频率计算)
00000	0 CLK
00001	1 CLK
00010	2 CLK
⋮	⋮
⋮	⋮
⋮	⋮
11110	30 CLK
11111	31 CLK

ITP 位：中断信号极性控制。

- ITP=0：ITM=1 时，正向脉冲中断；ITM=0 时，高电平中断。
- ITP=1：ITM=1 时，负向脉冲中断；ITM=0 时，低电平中断。

ATC1_0 位：读取按键状态寄存器后自动撤销中断信号

表 10: ATC1_0

ATC1_0	读取按键状态寄存器后自动撤销中断控制
00	不允许读取按键状态寄存器后自动撤销中断
01	读取按键状态寄存器 0X0D 后自动撤销中断
10	读取按键状态寄存器 0X0E 后自动撤销中断
11	读取按键状态寄存器 0X0F 后自动撤销中断

AM1~AM0 位：中断模式

表 11: AM1~AM0

AM1~AM0	中断模式
00	AS=0 时，设置的有效测量端子中没检测到触摸信号触发中断。
01	AS=0 时，设置的有效测量端子中任意一个检测到触摸信号触发中断。
10	AS=0 时，设置的有效测量端子中全部检测到触摸信号触发中断。
11	AS=1 时，设置的以 AA4~0 端子开始，连续 PL1~0 个端子，检测结果模式匹配 PP3~0 的设置时触发中断。

AS 位：主动模式下有效测量端子选择

0: 由寄存器 0x01~0x02 指定的测量端子有效。
1: 由寄存器 0x07 的 AA4~0 开始，连续 PL1~0 个端子指定有效。

AA4~AA0 位：查询按键组起始位置

指定中断模式 AS=1 情况下的，查询按键组的起始位置。

表 12: AA4~AA0

AA4~AA0	查询按键起始位置
00000	以 S0 为起始位置
00001	以 S1 为起始位置
00010	以 S2 为起始位置
:	:
:	:
:	:
10110	以 S22 为起始位置
10111	以 S23 为起始位置
11000	以 S24 为起始位置

PL1~PL0 位：查询按键组长度

指定中断模式 AS=1 情况下的查询按键组的长度。最多为 4 个按键。

表 13: PL1~PL0

PL1~PL0	查询按键组长度
00	AA4~0 位指定的按键
01	AA4~0 位指定的按键开始，连续 2 个按键
10	AA4~0 位指定的按键开始，连续 3 个按键
11	AA4~0 位指定的按键开始，连续 4 个按键

PP3~PP0 位：模式匹配图形

指定中断模式 AS=1 情况下的模式匹配图形，以触发中断。

PP*含义：0 代表有触摸，1 代表没有触摸。

ACEN 位：计数器使能

1: 计数器开启。当中断计数器计数 AC10~0 所定义的次数时，触发一次测量。（即计数器用于定义每次扫描的间隔）

0: 计数器关闭。

AC12~AC0 位：中断计数器长度设置

设置中断计数器长度。

ACM 位：允许内部模拟电路关闭

为了节省功耗，LT6101 允许在计数器计数的中间过程关闭部分测量电路，以节省功耗。

1: 允许关闭模拟电路。

0: 不允许关闭模拟电路。

CM5~CM0 位：定义内部模拟电路开启时间

当 ACM=1 时，CM5~0 定义内部模拟电路开启时间。表示在下一次测量前 CM5~0 个时钟周期开启内部模拟电路。

注：CM5~CM0 的设置必须小于中断计数器的起始计数值。

5.6 OSC 命令 (0x0A)

OSC 命令用于设置主机工作时的同步信号来源。

OEN 位: OSC 使能

1: 内部 OSC 工作。

0: 内部 OSC 停止。

HSEL 位:

1: 外部时钟作为主机时钟。

0: 内部 OSC 时钟作为主机时钟。

5.7 CP 命令 (0x0B)

CP 命令用于设置主机工作模式下的触摸事件识别条件。

CP10~CP0 位: 内部参考电容设定。

表 14: CP10~CP0

CP10~CP0	Cref
0000_0000_000	0
0000_0000_001	9.3fF
0000_0000_010	2*9.3fF
0000_0000_011	3*9.3fF
----	-----
1111_1111_101	2045*9.3fF
1111_1111_110	2046*9.3fF
1111_1111_111	2047*9.3fF

5.8 从机 PROBE 命令 (0x0C)

从机 Probe 命令用于从机工作模式下对指定的传感器感应通道进行信号测量。

A4~A0 位: 指定需要查询的感应通道地址。

表 15: A4~A0

A4~A0	通道地址
00000	S0
00001	S1
00010	S2
00011	S3
----	-----
10110	S22
10111	S23
11000	S24

注: Probe 命令运行时, 当前 probe 命令输出的结果 D10~D0 是前一个 probe 命令所设置的 A4~0 位所指定传感器感应通道测量的结果。当前 Probe 命令设置的 A4~0 位所指定传感器感应通道测量结果将在下一个 probe 命令发送时由 SDO 管脚输出。

5.9 HOST 命令 (0x0D~0x0F)

HOST 命令用于查询主机模式下传感器感应通道测量结果

S24R~S0R 位: 主机测量结果

0: 对应电极被触摸。

1: 对应电极未被触。

6. 按键设计注意事项

LT6101A 共有 25 个触控按键管脚，LT6101B 有 8 个触控按键管脚，这些触控按键感应管脚可以连接单个按键、组合条型按键、圆环按键、或者多图形组合按键。

6.1 单个按键输入

典型面积 8mm×11mm，最大 10mm×12mm，最小 6mm×6mm，按键之间间距大于 3mm，也可以设计成其它图形。示例：



图 6：单点按键

6.2 进度条输入

单个按键典型面积 5mm*11mm，按键之间间距 0.3mm，至少需要 3 个按键。示例：



图 7：进度条按键

6.3 圆环输入

圆环宽度为 8mm，一般设计成 4 个按键。示例：

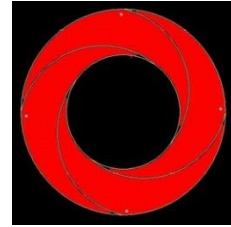


图 8：圆环按键

6.4 多图形组合输入

示例：

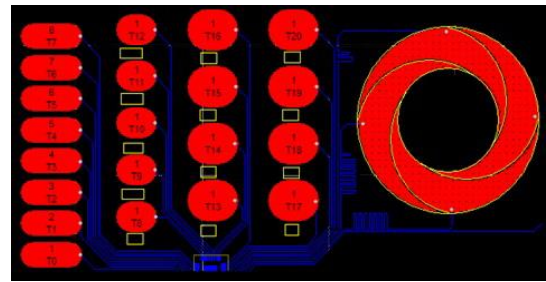


图 9：组合按键

备注：IC 到按键之间的走线不能交叉，走线之间的间距最好在 0.2mm 以上；同一块 PCB 的单按键尽量使用同一面的按键输入；圆环形按键输入的 4 个输入块面积尽量相等；另外，各个按键到 PCB 的外缘距离不能小于 6mm，尽量在 8mm 以上。

7. 系统应用方案

为了降低系统功耗，LT6101 可以按照主机和从机两种模式工作，从而允许系统控制权在外部主机（MCU）和 LT6101 之间自由切换。LT6101 的 INT 脚是中断输出信号，用于连接 MCU 的可唤醒中断输入，实现 MCU 的休眠唤醒。

当外部主机需要休眠时，LT6101 可以接管系统的控制权限，实现触摸按键巡查和触摸事件判断。

LT6101 在主机模式下自动巡检按键，当检测到触摸事件发生时，LT6101 会根据预先设置的中断触发条件在满足条件时从 INT 脚输出中断信号，唤醒休眠 MCU。当外部 MCU 被唤醒后，MCU 响应中断，通过 SPI 接口发送指令使 LT6101 进入从机模式，释放系统控制权。外部 MCU 接管系统控制权，成为系统主机。

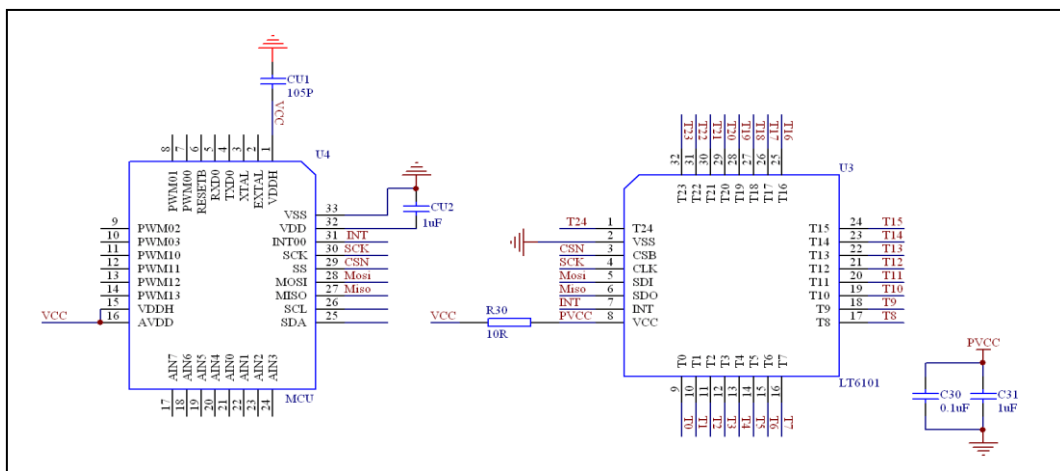


图 10: MCU 与 LT6101 的硬件连接

备注：LT6101 的 CLK 信号是由 MCU 的 SPI_CLK 提供的，为了保证触控按键信号采集速度，建议用户尽量使用 MCU 的硬件 SPI 来驱动触控 IC。

8. 程序设计参考

LT6101 在主模式下，有内置 40K 时钟用于 IC 自动巡检，也可以从 HCLK 脚输入 40K~5K 外部时钟，让 IC 自动巡检，通过 SPI 接口可以设置 IC 使用内部时钟或外部时钟。由于 LT6101 内部时钟固定为 40K，如果外部时钟小于 40K，比如 10K，会让 IC 更加省电。

8.1 主要参数设置

```
#ifndef LT6101_H
#define LT6101_H
//-----
#define IDX_CMD0 xC000
#define IDX_DAT 0x8000
//-----IDX-----
#define HRST    1    // 当对该位写入数据 1 时，就完成一次对主机的复位，写入 0 时，禁止复位。
#define C0DI    0    // 写入数据 0 时，CD0 电容作为 Sense 线的自电容，写入数据 1 时，CD0
                    // 电容作为 Reference 线的自电容。
#define OEB     0    // 控制 SDO 线的状态，写入 0 时，SDO 输出正常。写入 1 时，SDO 线输出 Hiz。
#define C1S     7    // 用于控制内部上拉电容 CU1，x = 0~7 值，value = x * 0.8 pF
#define C1D     7    // 用于控制内部接地电容 C1D，x = 0~7 值，value = x * 0.8 pF
                    // COS = 4 时，上盖 2mm 亚克力最好；COS = 3 时，上盖亚克力 4mm 为好
#define COS     4    // 用于控制内部上拉电容 CU0，x = 0~7 值 value = x * 0.8 pF
#define C0D     0    // 用于控制内部接地电容 C0D，x = 0~7 值 value = x * 0.8 pF
#define E_M     0    // MOD=1，主模式 ME=0
#define ME_S    1    // MOD=0，从模式。ME=1：自电容进行直接量化，
                    // ME0=0：参考电容比较输出
#define OD_S    0    // 0：从机工作模式--(该模式允许 ME=0 和 ME=1 的设置)
#define D_M     1    // 1：主机工作模式--(该模式仅允许 ME=0 的设置)；
#define CLE     0    // 为 0 撤销中断信号
                    // 端口状态设置：1→可用，0→不可用

#define S24_13
(0<<13)|(0<<12)|(0<<11)|(0<<10)|(0<<9)|(0<<8)|(0<<7)|(0<<6)|(0<<5)|(1<<4)|(1<<3)|(0<<2)
#define S12_00
//(1<<13)|(1<<12)|(1<<11)|(1<<10)|(1<<9)|(1<<8)|(1<<7)|(1<<6)|(1<<5)|(1<<4)|(1<<3)|(1<<2)|(1<<1)
//-----
#define IEN     1    // 中断输出使用
#define ITH     1    // 中断触发的滤波 0--无滤波，1 -- 2 次滤波，2--3 次滤波，3--4 次滤波
#define         0    // 中断模式：1--脉冲中断，0--电平中断
#define ITP     1    // ITP=0：ITM=1 时，正向脉冲中断，ITM=0 时，高电平中断；
                    // ITP=1：ITM=1 时，负向脉冲中断，ITM=0 时，低电平中断；
#define IF      31   // 脉冲宽度 0~31 个 CLK
```

```

#define ATC      3    // 00 不允许读取按键状态寄存器后自动撤销中断
                  // 01 读取按键状态寄存器 0X0D 后自动撤销中断
                  // 10 读取按键状态寄存器 0X0E 后自动撤销中断
                  // 11 读取按键状态寄存器 0X0F 后自动撤销中断
#define AS      1    // 0: 由寄存器 0x01~0x02 指定的测量端子有效;
                  // 1: 由寄存器 0x07 的 AA4~0 开始, 连续 PL1~0 个端子指定有效
#define AM      3    // 00 → AS=0 时, 设置的有效测量端子中没检测到触摸信号触发中断
                  // 01 → AS=0 时, 设置的有效测量端子中任意一个检测到触摸信号触发中断。
                  // 10 → AS=0 时, 设置的有效测量端子中全部检测到触摸信号触发中断。
                  // 11 → AS=1 时, 设置的以 AA4~0 端子开始, 连续 PL1~0 个端子,
#define AA      14   // 0~24 按键组开始位置
#define PL      0    // 00--AA 指定开始的 1 个按键; 01--AA 指定开始的 2 个按键;
                  // 02--AA 指定开始的 3 个按键; 03--AA 指定开始的 4 个按键;
#define PP      (0<<3)|(1<<2)|(1<<1)|(0) //指定中断模式 AS=1 情况下的模式匹配图形,
                  //以触发中断。0 代表有触摸, 1 代表没有触摸。
#define ACEN    1    // 1: 计数器开启。当中断计数器计数 AC10~0 所定义的次数时,
                  // 触发一次测量。
#define AC      0x1FFF // 设置中断计数器长度。
#define ACM     1    // 1: 允许关闭模拟电路; 0: 不允许关闭模拟电路
#define CM      7    // 定义内部模拟电路开启时间
#define OEN_DS  0    // 1: 内部 OSC 工作; 0: 内部 OSC 停止
#define OEN_EN  1
#define HCK_SEL 0    // 1: 外部时钟作为主机时钟; 0: 内部 OSC 时钟作为主机时钟
#define WakeUP_Base_Value  640    // No.5 Key , 2mm 亚克力
// #define WakeUP_Base_Value  1083    // No.5 Key , 4mm 亚克力
#define WakeUP_Limit  50
#define CP (WakeUP_Base_Value+WakeUP_Limit) //1130~1160//
                  // ME=0 时设定内部参考电容大小, 单位电容为 9.3pF, 量程为 19pF
#define WakeUP_Base_HV (WakeUP_Base_Value+(WakeUP_Base_Value*5)/100)
#define WakeUP_Base_LV (WakeUP_Base_Value-(WakeUP_Base_Value*5)/100)
//-----
#endif

```

8.2 初始化代码

LT6101 的内部寄存器在上电后处于不确定状态。系统上电后，需要外部主机执行初始化代码对寄存器进行初始化配置。

```

void Init_LT6101(void)
{
    Chip_ON();
    // 设置寄存器索引 0A, 设置 OEN=0, 关闭内部 OSC。设置 HCLK_SEL=0, 使用内部 OSC 作为时钟
    // -----开始配置寄存器-----
    Write_cmd(0x03, (ME_S<<13)|(MOD_S<<12)|(CLE<<11));
    // 设置 ME=0, 按照需要设置测量方式;
    // 设置 MOD=0, 初始化系统运行在从机模式下; 仅在 MOD=0 时, 除 03 寄存器之外的其它寄存器
    // 设置 CLE=0, 中断清除;
    Write_cmd(0x01, (HRST<<13)|(C0DI<<12)|(OEB<<11));
    // 设置 HRST=1, 主机状态机复位;
    // 设置 C0DI=0, 将 CD0 的连接方式按照需要设置;
    // 设置 OEB=0, 设置 SDO 输出正常;
    Write_cmd(0x02, (C1S<<11)|(C0S<<8)|(C1D<<4)|(C0D));
    // 设置寄存器索引 02, 按照需要设置电容桥的 CU1, CU0, CD0, CD1 电容。
    Write_cmd(0x04, S24_13<<2);
    // 按照需要设置寄存器索引 04。 Write_cmd(0x05, S12_0<<1);
    // 按照需要设置寄存器索引 05。
    Write_cmd(0x06, (IEN<<13)|(ITH<<11)|(ITM<<10)|(ITP<<9)|(IF<<4)|(ATC<<2));
    // 按照需要设置寄存器索引 06
    Write_cmd(0x07, (AS<<13)|(AM<<11)|(AA<<6)|(PL<<4)|(PP));
    // 按照需要设置寄存器索引 07
    Write_cmd(0x08, (ACEN<<13)|(AC));
    // 按照需要设置寄存器索引 08
    Write_cmd(0x09, (ACM<<13)|(CM<<7));
    // 按照需要设置寄存器索引 09
    Write_cmd(0x0B, CP<<3);
    // 按照需要设置参考电容为 CP10~0=*****。
    Write_cmd(0x0A, (OEN_DS<<13)|(HCK_SEL<<12));
    Chip_Off();
}

```

8.3 退出主机模式

外部主机处于休眠模式时，LT6101 掌控系统的控制权限。当外部主机被中断唤醒时，执行如下指令使 LT6101 退出主机模式，让出系统控制权。

```
void LT6101_M2S(void) // 待机模式唤醒
{
    Chip_ON();
    // MOD = 0 待机模式模式
    Write_cmd(0x03, (ME_M<<13)|(MOD_S<<12)|(CLE<<11));
    // 设置 ME=0, 按照需要设置测量方式;
    // 设置 MOD=0, 初始化系统运行在待机模式下; 仅在 MOD=0 时, 除 03 寄存器之外的其它寄存
    // 设置 CLE=0, 中断清除;
    Write_cmd(0x03, (ME_S<<13)|(MOD_S<<12)|(CLE<<11));
    // Write_cmd(0x01, (HRST<<13)|(C0DI<<12)|(OEB<<11));
    // 设置 HRST=1, 主机状态机复位;
    // 设置 C0DI=0, 将 CD0 的连接方式按照需要设置;
    // 设置 OEB=0, 设置 SDO 输出正常;
    delay_ms(6);
    // OEN = 0 关闭 OSC
    Write_cmd(0x0A, (OEN_DS<<13)|(HCK_SEL<<12));
    Chip_Off();
}
```

8.4 进入主机模式

在 MCU 进入休眠前，LT6101 需要配置主机工作模式，实现触摸按键自动巡检，等待外部有效触摸事件发生。执行如下指令，使 LT6101 进入主机工作模式。

```
void LT6101_S2M(void) // 进入待机模式
{
    Chip_ON();
                                // ME = 0  //MOD = 1 待机模式
    Write_cmd(0x03,v(ME_M<<13)|(MOD_S<<12)|(CLE<<11));
                                // OEN = 1 开启 OSC
    Write_cmd(0x0A, (OEN_EN<<13)|(HCK_SEL<<12));
    delay_ms(11);                // 等待 OSC 稳定
                                // ME = 0  //MOD = 1 待机模式
    Write_cmd(0x03, (ME_M<<13)|(MOD_M<<12)|(CLE<<11));
                                // 设置 ME=0, 按照需要设置测量方式;
                                // 设置 MOD=0, 初始化系统运行在从机模式下; 仅在 MOD=0 时, 除 03 寄存器之外的其它寄存
                                // 设置 CLE=0, 中断清除
    Chip_Off();
}
```

8.5 软件应用调试说明

在使用 LT6101 时，外部主机通过 SPI 接口从 LT6101 获取各个触摸按键的测量值，触摸事件判断依据测量值的变化而确定。通常情况下，无手指触摸按键的测量值和有手指触摸按键的测量值存在一定差值，当这个差值超过一个预先设定的阈值时，可以作为触摸事件判定的一个标准。具体的软件调试方法如下：

(1) 阈值设定。硬件电路调试完成后，通过 LT6101 读取各个触摸按键的 CDC 数据，无手指触摸的各个按键的 CDC 数据记为 NFValue，有手指触摸的按键 CDC 数据记为 FValue，根据采集到的 CDC 数据计算出需要的阈值 $Limit = (FValue - NFValue) \times 0.6$ 。

(2) 触摸事件判断。在程序中保存无手指触摸的 CDC 值 baseVal 和触摸阈值 Limit，触摸事件判断的依据为按键测量值 $newFValue > (baseVal + Limit)$ 。

(3) 设定 Limit，baseValue 和 newFValue 参数的合理范围。由于各种应用环境的噪声水平不同，直接使用参考程序的设定参数，获取的数据并不合理。由于 baseValue 和 newFValue 的范围是 0~2047，如果 newFValue 数据过大，就不能有效的测出触摸通道的数据变化量，对于干扰等各种环境因素的处理容易失效。因此，在设定初始化参数时，务必使 Limit 在 0~200 的之内，baseValue 在 0~1023 之内，newFValue 小于 2047。使用环境越是恶劣，参数越是要小些。

(4) 主机模式下的唤醒阈值设定。LT6101 工作在主机模式下，CP10~0 参数的设定至关重要。需要在从机模式下多次采集唤醒通道无触摸情况下的 CDC 数据，再将采集到的 CDC 数据加上合理的阈值作为 CP10~0 参数的设定值。

(5) LT6101Demo.C 包含动态基准数据的计算，可以有效的消除不同芯片之间的差异以及环境变化，请参考 LT6101Demo.C 文件。

```

uint16_t Get_Wakeup_LimitValue(void) // 用于修正芯片之间的数值差异
{
    int32_t CDCValue[3];
    int32_t CDCV;

    // 连续采样 3 次, CDC 值均要低于手指有效触发值
    CDCValue[0] = Get_WakeUP_CDC_Value();
    CDCValue[1] = Get_WakeUP_CDC_Value();
    CDCValue[2] = Get_WakeUP_CDC_Value();
    if(CDCValue[0]<(oldVal[4]+Limit[4]))
    {
        if(CDCValue[1]<(oldVal[4]+Limit[4]))
        {
            if(CDCValue[2]<(oldVal[4]+Limit[4]))
            {
                CDCV = (CDCValue[0]+CDCValue[1]+CDCValue[2])/3; // 3 次采样平均值
                if(CDCV>WakeUP_Base_Value) // 这个值大于基准值
                {
                    if(CDCV>WakeUP_Base_HV) return
                        WakeUP_Base_HV;
                    else return CDCV;
                }
                else // 这个值小于基准值
                {
                    if(CDCV<WakeUP_Base_LV) return
                        WakeUP_Base_LV;
                    else return CDCV;
                }
            }
        }
    }
    return 0; // 采样失败
}

```

```

Void Set_Wakeup_LimitValue(uint16_t IValue)
{
    Chip_ON();
    Write_cmd(0x0B, IValue<<3);
    Chip_Off();
}

```


9. 参考应用电路

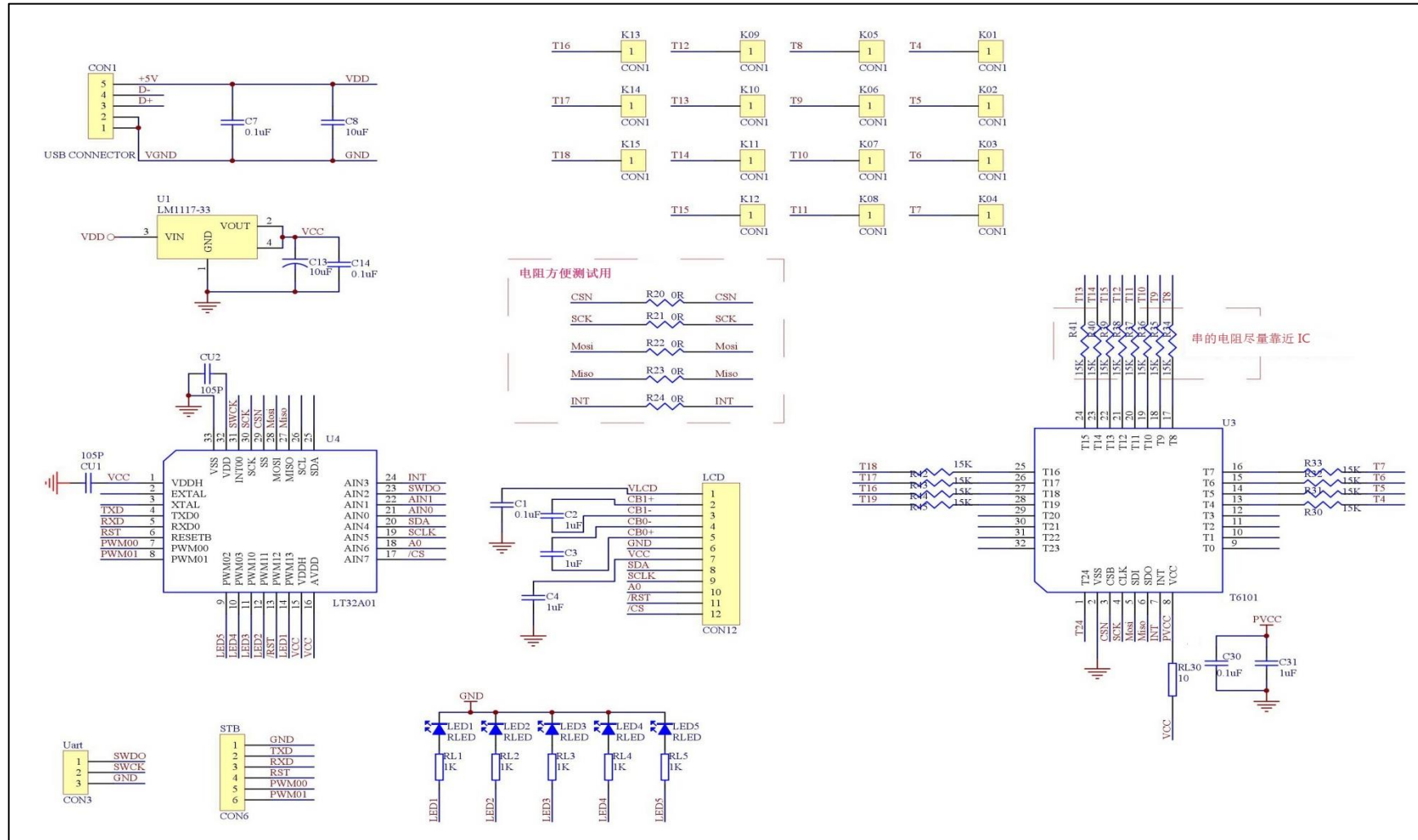


图 10: 应用电路

LT6101_DS / V1.2

封装尺寸

1. LT6101A : 32Pin QFN

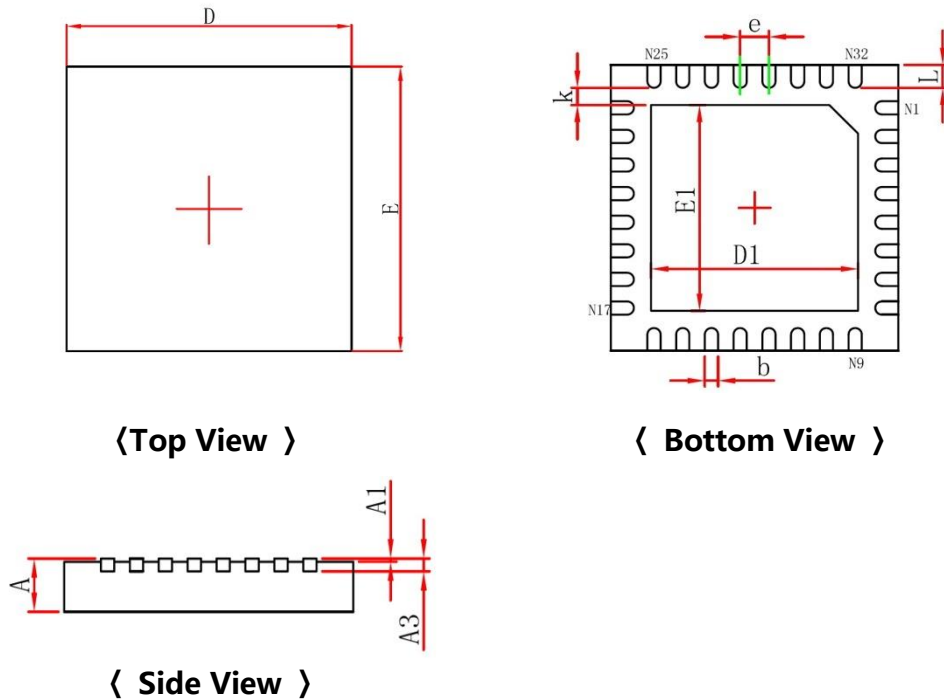


图 11: LT6101A 尺寸图

表 16: Dimension Table

Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	0.700/0.800	0.800/0.900	0.028/0.031	0.031/0.035
A1	0.000	0.050	0.000	0.002
A3	0.203REF.		0.008REF.	
D	4.924	5.076	0.194	0.200
E	4.924	5.076	0.194	0.200
D1	3.300	3.500	0.130	0.138
E1	3.300	3.500	0.130	0.138
k	0.200MIN.		0.008MIN.	
b	0.180	0.300	0.007	0.012
e	0.500TYP.		0.020TYP.	
L	0.324	0.476	0.013	0.019

2. LT6101B : 16Pin QFN

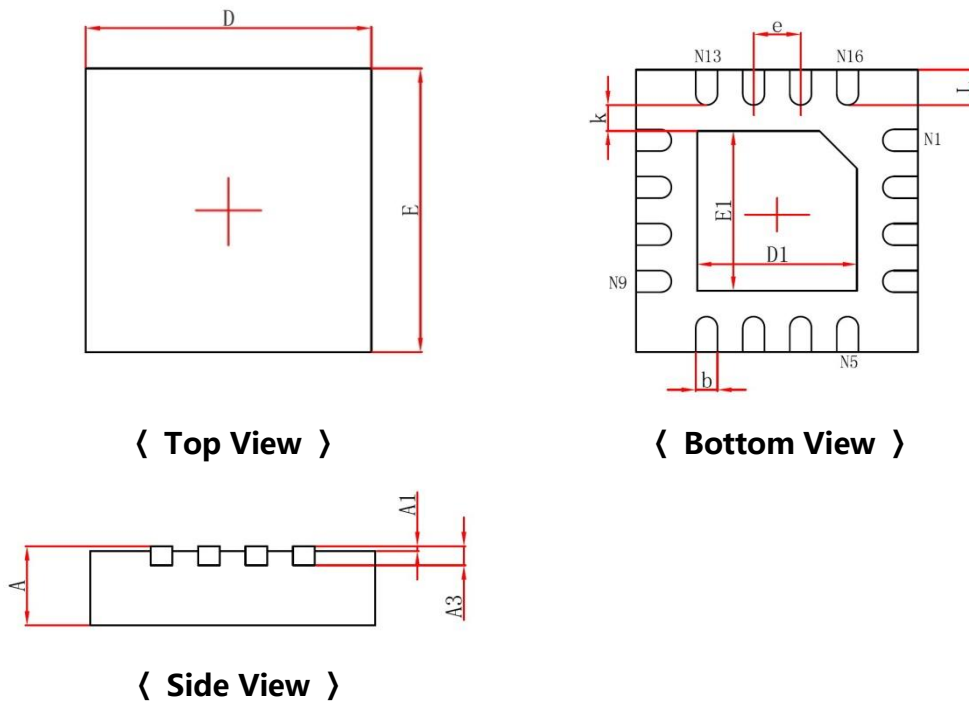


图 12: LT6101B 尺寸图

表 17: Dimension Table

Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	0.700/0.800	0.800/0.900	0.028/0.031	0.031/0.035
A1	0.000	0.050	0.000	0.002
A3	0.203REF.		0.008REF.	
D	2.900	3.100	0.114	0.122
E	2.900	3.100	0.114	0.122
D1	1.600	1.800	0.063	0.071
E1	1.600	1.800	0.063	0.071
k	0.200MIN.		0.008MIN.	
b	0.180	0.300	0.007	0.012
e	0.500TYP.		0.020TYP.	
L	0.300	0.500	0.012	0.020

▶ 版本记录

表 18: 版本记录

版 别	发 布 日 期	改 版 说 明
V1.0	2015/3/27	正式发布
V1.1	2017/4/20	编排内容调整
V1.2	2018/5/28	编排内容调整

▶ 版权说明

本文件之版权属于乐升半导体所有，若需要复制或复印请事先得到乐升半导体的许可。本文件记载之信息虽然都有经过校对，但是乐升半导体对文件使用说明的规格不承担任何责任，文件内提到的应用程序仅用于参考，乐升半导体不保证此类应用程序不需要进一步修改。乐升半导体保留在不事先通知的情况下更改其产品规格或文件的权利。有关最新产品信息，请访问我们的网站 [Http://www.levetop.cn](http://www.levetop.cn)。